



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 45 007 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 M 7/02**  
G 01 M 15/00  
G 01 H 11/00

②① Aktenzeichen: 197 45 007.5  
②② Anmeldetag: 11. 10. 97  
②③ Offenlegungstag: 23. 4. 98



DE 197 45 007 A 1

⑥⑥ Innere Priorität:  
196 43 476. 9 22. 10. 96

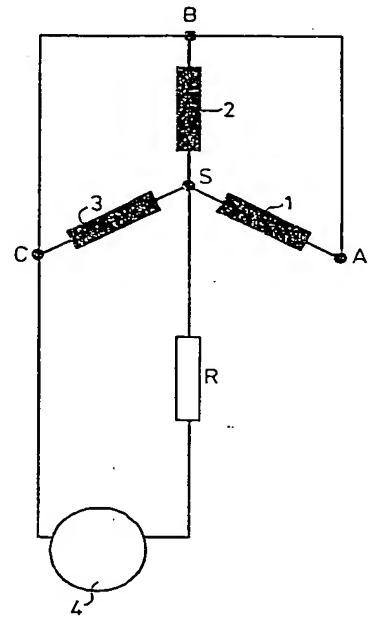
⑦① Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Simon, Clemens, 82319 Starnberg, DE; Syrop, Alan,  
Dr., Cardiff, GB

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Vorrichtung und Verfahren zur Bewertung der Geräusche von elektrischen Maschinen oder Geräten

⑤⑦ Es wird eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bewertung der Geräusche von elektrischen Maschinen oder Geräten und/oder deren stromdurchflossener Bauteile vorgeschlagen, mit wenigstens einer Spulenwicklung, in der ein magnetisches Wechselfeld auftritt, mit einer Aufnahmeeinrichtung (9, 10, 11) zur Detektion der Geräusche und mit Mitteln zur Verarbeitung der Signale der Aufnahmeeinrichtung. Für die Bestromung der Spulenwicklung (1, 2, 3) ist eine Wechselspannungsquelle (4) zur Erzeugung einer mechanischen Schwingung vorgesehen, mit der das Geräusch ausbildbar ist. Mittels der Frequenz der Wechselspannung ist das Geräusch im herkömmlichen stromführenden Betriebszustand nachbildbar. Außerdem läßt sich das vorgeschlagene Verfahren zur Fertigungskontrolle und/oder Qualitätsprüfung der stromdurchflossenen Bauteile einsetzen, wobei das bei einer vorher festgelegten Frequenz der Wechselspannung auftretende Geräusch bewertet wird.



DE 197 45 007 A 1

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bewertung der Geräusche von elektrischen Maschinen oder Geräten und/oder deren stromdurchflossener Bauteile nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. des Anspruchs 10.

Die Bewertung der Betriebsgeräusche von elektrischen Maschinen oder Geräten, die über wenigstens eine Spulenwicklung verfügen und im herkömmlichen stromführenden Betriebszustand ein magnetisches Wechselfeld aufweisen, ist vor allem unter dem Gesichtspunkt der Geräuschminimierung bei der Entwicklung derartiger Maschinen und Geräte bzw. bei der optimalen Komponentenauswahl von Interesse. Unter Spulenwicklung soll im folgenden eine Anordnung elektrischer Leiter in beispielsweise elektrischen Maschinen, Transformatoren, Elektromagneten oder dergleichen verstanden werden.

Bei einer bekannten Ausführungsform werden z. B. die Betriebsgeräusche einer Lichtmaschine für ein Kraftfahrzeug bewertet. Dieser elektrische Generator, meist in Form eines Drehstromsynchronläufers, wird zur elektrischen Energieversorgung im Kraftfahrzeug in der Regel über den Keilriemen vom Verbrennungsmotor angetrieben und ist auf diese Weise starken Drehzahlschwankungen unterworfen. Daher sollte auch die Geräuschprüfung über einen entsprechenden Drehzahlbereich erfolgen. Dazu wird der Generator auf einem Prüfstand angeordnet. Um am Generator die gewünschten Drehzahlen einstellen zu können, ist ein zusätzlicher leistungsstarker Antrieb notwendig, der beispielsweise über einen Riemenantrieb angekoppelt wird. Für die Erzielung von neutralen Meßbedingungen sollte der Aufbau in einer Geräuschmeßzelle erfolgen, wobei überdies darauf zu achten ist, daß die Laufgeräusche des zusätzlichen Antriebs die Bewertung der Betriebsgeräusche des Generators nicht nachteilig beeinflussen.

Die Bewertung des Generators bei der jeweiligen Drehzahl kann nach einer subjektiven Methode von einer Anzahl Testpersonen vorgenommen werden. Die subjektive Beurteilung ist selbstverständlich immer mit Ungenauigkeiten behaftet. Bei einer anderen Vorgehensweise wird über Mikrofone die Größe der Amplituden der abgestrahlten Schwingungen im Luftschall aufgenommen. Hierdurch erhält man eine gute Reproduzierbarkeit der Messung und objektive Vergleichskurven zu anderen Messungen.

Bei bestimmten Drehzahlen nimmt die Lautstärke des Geräusches aufgrund von Resonanzbedingungen stark zu. Das Anfahren dieser Resonanzstellen ist allerdings mit dem oben beschriebenen Aufbau, d. h. mit der zusätzlichen leistungsstarken Antriebseinheit, nicht immer in exakter Weise möglich. Dies liegt daran, daß aufgrund der Lastschwankungen bei einer Umdrehung des Generators die Drehzahl ebenfalls innerhalb der Umdrehung schwankt und somit eine bestimmte Drehzahl nicht mit ausreichender Genauigkeit eingestellt werden kann.

Die Erfindung hat die Aufgabe, eine Vorrichtung zur Bewertung der Geräusche von elektrischen Maschinen oder Geräten mit wenigstens einer Spulenwicklung, bereitzustellen, bei der ein geringerer Konstruktionsaufwand notwendig und die Genauigkeit der Bewertung verbessert ist. Weiterhin soll ein Verfahren zur Bewertung der Geräusche aufgezeigt werden, das im Vergleich zum Stand der Technik ebenfalls einfacher und genauer ist. Das Verfahren soll sich für die Überwachung der Fertigung eignen.

Der Kerngedanke der Erfindung liegt darin, daß mittels einer elektrischen Erregung der Spulenwicklung das dadurch erzeugte magnetische Wechselfeld und die wiederum dadurch verursachten mechanischen Schwingungen ein Geräusch erzeugen. Mit diesem Geräusch läßt sich einerseits das im herkömmlichen Strom führenden Betriebszustand auftretende Geräusch nachbilden. Darüber hinaus gibt das vom magnetischen Wechselfeld hervorgerufene Geräusch Auskunft über die Einhaltung von Funktionsparametern des stromdurchflossenen Bauteils oder über die Einhaltung von bestimmten Fertigungsparametern, nach denen das stromdurchflossenen Bauteil hergestellt wurde. Damit ist es möglich, die erfindungsgemäße Vorrichtung und das erfindungsgemäße Verfahren zur Fertigungskontrolle bzw. zur Qualitätsprüfung von stromdurchflossenen Bauteilen einzusetzen. Die elektrische Maschine bzw. das elektrische Gerät muß zur Qualitätsprüfung nicht im fertig montierten Zustand vorliegen.

Bezogen auf die Geräuschprüfung von Generatoren ist kein leistungsstarker Antrieb notwendig, der diesen auf die Drehzahl bringt, für die eine Bewertung durchgeführt werden soll. Statt dessen wird beispielsweise die Ständerwicklung des Generators mit einer Wechselspannung beaufschlagt, deren Frequenz der zu bewertenden Drehzahl entspricht. Überraschenderweise stellen sich dadurch am Generator Betriebsgeräusche ein, die im wesentlichen denen entsprechen, als wenn der Rotor des Generators auf der der Frequenz entsprechenden Drehzahl laufen würde. Dies begründet sich vor allem darin, daß bei herkömmlichen elektrischen Maschinen, die Betriebsgeräusche im wesentlichen durch die Wechselwirkungen der magnetischen Kräfte in der Maschine zustandekommen. Eine Abweichung von einer Messung bei tatsächlicher Rotation kann allerdings auftreten, wenn andere Geräuschquellen, wie beispielsweise Lagergeräusche, Streifergeräusche, Riemenantriebsgeräusche oder dergleichen dominant werden. Durch eine derartige Bewertung ist es somit außerdem möglich, die durch das Magnetfeld hervorgerufenen Geräusche von sonstigen Geräuschquellen eindeutig zu trennen. Die vom magnetischen Wechselfeld erzeugten Geräusche können in vielfältiger Weise detektiert bzw. weiterverarbeitet werden. Bei mehrspuligen elektrischen Maschinen kann eine mehrphasige Speisung vorteilhaft sein, bei der ggf. Wellenform und/oder Phasenlage der Wechselspannung frei einstellbar sind. Auf diese Weise gewinnt man bei der Analyse der Betriebsgeräusche weitere Freiheitsgrade.

Um die Bewertung über einen bestimmten Frequenzbereich, also Drehzahlbereich, durchführen zu können, wird desweiteren vorgeschlagen, daß die Wechselspannungsquelle in ihrer Frequenz variabel ist.

Zur rechnergesteuerten Durchführung der Messung wird weiterhin vorgeschlagen, daß die Frequenz der Wechselspannungsquelle automatisch einstellbar ist.

Außerdem ist es besonders bevorzugt, wenn bei Generatoren Antriebsmittel für eine Drehbewegung des Läufers während der Bestromung vorgesehen sind. Bei elektrischen Maschinen ist die magnetische Kopplung nicht völlig unabhängig von der Stellung des Läufers im Vergleich zum Ständer. Durch eine Drehung des Läufers, die sehr langsam sein kann, (beispielsweise 140 Umdrehungen pro Minute) werden derartige Unsymmetrien ausgemittelt. Dabei ist es im weiteren vorteilhaft, eine variable Drehzahl des Rotors zu ermöglichen.

Um in vergleichsweise einfacher Weise eine Drehbewegung des Läufers realisieren zu können, wird außerdem vorgeschlagen, daß die Antriebsmittel einen vorzugsweise lei-

sen Getriebemotor umfassen.

Zur rationellen Verarbeitung von detektierten Geräuschen wird weiterhin vorgeschlagen, daß die Mittel zur Verarbeitung einen elektronischen Rechner beinhalten.

Außerdem ist es besonders vorteilhaft, wenn die Aufnahmeeinrichtung wenigstens ein Mikrofon zur Detektion des Schalldrucks umfaßt. Hiermit wird eine besonders gängige Methode zur Geräuschemessung verwirklicht.

Ebenso ist es in einer vorteilhaften Ausführungsform bevorzugt, wenn die Aufnahmeeinrichtung wenigstens einen Sensor zur Detektion von Körperschall beinhaltet. Auf diese Weise kann eine im Vergleich zur Schalldruckmessung feinfühlere Meßwerterfassung möglich werden.

Die Vorrichtung und das Verfahren lassen sich analog einsetzen zur Prüfung anderer Bauteile, wie z. B. von piezoelektrischen Bauteilen. Wichtig für die Ausnutzung der Erfindung ist, daß eine elektrische Erregung einer mechanischen Schwingung des Bauteils vorliegt.

#### Ausführungsbeispiele

Ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird anhand der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Ein zweites Ausführungsbeispiel wird anhand eines Verfahrens zur Überprüfung der Fertigungsqualität eines stromdurchflossenen Bauteils beschrieben.

Im einzelnen zeigen:

Fig. 1a und b das schematische Schaltbild eines Dreiphasengenerators mit erfindungsgemäßer Wechselspannungsbestromung (a) bzw. gleichspannungsversorgtem Rotor (b),

Fig. 2 einen Generator in den Prüfstand einer Geräuschmeßzelle eingespannt in der schematischen Seitenansicht,

Fig. 3 den Prüfstand mit Generator aus Fig. 2 in der schematischen Draufsicht,

Fig. 4 die Verläufe der durch ein Mikrofon aufgenommenen Schalldruckpegel des Betriebsgeräusches eines Generators für das erfindungsgemäße Verfahren zur Bewertung und für ein herkömmliches Verfahren,

Fig. 5 den zeitlichen Verlauf der Schalldruckpegel des Betriebsgeräusches zweier Generatoren bei einer konstanten Erregerfrequenz (Drehzahl).

In Fig. 1a und b ist ein schematisches Schaltbild einer Lichtmaschine für ein Kraftfahrzeug, z. B. eines zwölfpoligen Drehstromsynchronläufers, dargestellt. Im folgenden soll der Begriff Stator anstatt Ständer verwendet werden, da es sich um eine Synchronmaschine handelt. Der sich drehende Teil wird als Rotor oder Läufer bezeichnet. Entsprechend Fig. 1a werden die Statorwicklungen 1, 2, 3 über die Anschlüsse A, B, C sowie den Sternpunkt S und einen Vorwiderstand R erfindungsgemäß mit einer Wechselspannungsquelle 4 verbunden. Der Rotor 5 (Fig. 1b) kann zur Ausbildung eines magnetischen Rotorfelds aus einer Gleichspannungsquelle 6 versorgt werden. Eine mögliche Drehbewegung des Rotors soll durch die gestrichelt eingezeichneten Rotorpositionen 5' bzw. 5'' angedeutet werden.

Die Wechselspannungsquelle 4 läßt sich beispielsweise in der Frequenz und in der Amplitude einstellen. Eine durch die Quelle 4 angelegte Wechselspannung erzeugt in den Statorwicklungen 1 bis 3 ein magnetisches Wechselfeld. Hierdurch wird der Stator in mechanische Schwingungen versetzt, die im wesentlichen das Betriebsgeräusch verursachen. In der Regel wird der Stator auf bestimmte Frequenzen "empfindlicher" reagieren, d. h. es wird sich eine besonders starke Schwingung ausprägen. In Abhängigkeit davon, wie der Stator in seiner Umgebung angeordnet ist, wird das Betriebsgeräusch leiser oder lauter sein. Die Anordnung oder Ankopplung des Stators in seinem Umfeld kann bei-

spielsweise in einem theoretischen Modell durch eine Übertragungsfunktion erfaßt werden.

Um den tatsächlichen Betriebsfall nachzuempfinden, wird der Rotor mit einer üblichen Gleichspannung beaufschlagt (bei einem permanentmagnetischen Rotor entfällt dies selbstverständlich). Hierdurch ändert sich die magnetische Kopplung im Generator und damit auch das von diesem abgegebene Geräusch. Wie sich bei Versuchen herausgestellt hat, wird das Betriebsgeräusch lauter, da sich der Stator über die magnetischen Kräfte am Rotor "abstützen" kann, wodurch sich die Amplitude der Statorschwingung vergrößert. Wie weiter unten noch detaillierter beschrieben werden wird, hat zusätzlich die Winkelstellung des Rotors in bezug auf den Stator einen Einfluß auf die am Generator auftretenden Schwingungen und damit auf die Geräuschbildung. Dies liegt in erster Linie daran, daß sich die magnetische Kopplung zwischen Stator und Rotor durch das Aufeinandertreffen von daran angebrachten Klauen bzw. Zähnen während der Rotation des Rotors kontinuierlich verändert.

Zweckmäßigerweise wird zur Bewertung der Betriebsgeräusche ein Amplitudenspektrum aufgenommen, bei dem beispielsweise mittels eines oder mehrerer Mikrofone der Schalldruckpegel in der Umgebung des Generators in einem bestimmten Frequenzbereich gemessen wird. Eine derartige Messung kann in einer Geräuschmeßzelle durchgeführt werden, die einen Prüfstand entsprechend der Fig. 2 und 3 besitzt. Hierzu wird ein Generator 7 (beispielsweise 12poliger Drehstromsynchronläufer) auf einen Montagetisch 8 aufgespannt. Die Geräuschmeßzelle, die Störgeräusche und Reflexionen ausschließen soll, verfügt im Ausführungsbeispiel über drei Mikrofone 9, 10, 11. Die Mikrofone 9 und 10 sind in einer Ebene parallel zum Montagetisch auf einer Kreislinie mit einem Radius von ungefähr  $r = 30$  cm um das Zentrum des Generators 7 angeordnet. Das dritte Mikrofon 11 ist in einer Höhe  $h$  von beispielsweise 50 cm senkrecht zur Tischebene über dem Zentrum des Generators positioniert. Als Zentrum kann die Mitte des Rotors auf seiner Drehachse 12 festgelegt werden. Um eine langsame Drehbewegung des Rotors (beispielsweise 1 bis 200 Umdrehungen pro Minute) realisieren zu können, ist ein leiser Getriebemotor 13 angeordnet, der über einen Antriebsriemen 14 die Drehachse 12 des Rotors 5 antreibt. Erfindungsgemäß kann auf einen leistungsstarken Antrieb, mit dem bei einer herkömmlichen Bewertung der Rotor des Generators auf Drehzahlen von mehreren tausend Umdrehungen pro Minute gebracht wird, ganz verzichtet werden. Ein dazu notwendiger entsprechend dimensionierter Antriebsriemen 15 ist in Fig. 2 zum besseren Verständnis dennoch angedeutet. Damit entfallen auch Maßnahmen, die bei einem leistungsstarken Motor getroffen werden müssen, um diesen akustisch von der Meßvorrichtung zu trennen. Das bei der herkömmlichen Bewertung aufgrund der hohen Drehzahl des Rotors sich einstellende magnetische Wechselfeld und die damit verbundenen Betriebsgeräusche lassen sich, um dies nochmal deutlich zum Ausdruck zu bringen, erfindungsgemäß durch das Anlegen einer Wechselspannung, deren Frequenz der Drehzahl des Rotors entspricht, nachempfinden. Somit ist der zusätzliche leistungsstarke Antrieb überflüssig, wodurch sich die Vorrichtung zur Bewertung der Betriebsgeräusche erheblich vereinfacht.

Die gute Korrelation eines herkömmlich aufgenommenen Amplitudenspektrums 16 und eines erfindungsgemäß gewonnenen Amplitudenspektrums 17 soll in dem Schaubild von Fig. 4 verdeutlicht werden. Beide Meßkurven wurden beispielsweise über das Mikrofon 9 aufgenommen, wobei auf der Ordinate die Amplitude des Schalldrucks in mPa (Millipascal) und auf der Abszisse die Frequenz bzw. Dreh-

zahl in kHz (Kilohertz) aufgetragen ist. Die Hauptresonanzstelle tritt für beide Meßverfahren nahezu an der gleichen Stelle auf, wobei überdies die Amplituden nahezu dekungs-  
gleich sind. Erst ab ungefähr 4,5 kHz fällt die erfindungsgemäß aufgenommene Kurve stark ab, da der nur sehr langsam sich drehende Rotor (beispielsweise 140 Umdrehungen pro Minute) die im herkömmlichen Fall mit größerer Drehzahl anwachsenden Geräusche eines Lüfters bzw. des Antriebsriemens nicht abstrahlen kann. Der Meßbereich unter einem kHz ist nicht von großer Bedeutung, da diese Drehzahl in einem Fahrzeug nicht auftritt.

Zur Aufnahme der Betriebsgeräusche sind unterschiedliche Mikrofonpositionen möglich, wobei es sich herausgestellt hat, daß eine Positionierung des Mikrofons im Bereich des Mikrofons 9 besonders geeignete Meßwerte liefert.

Bei der Aufnahme des erfindungsgemäßen Amplitudenspektrums 17 gemäß Fig. 4, hat sich, wie bereits erwähnt, der Rotor mit einer geringen Umdrehungszahl von ungefähr 140 Umdrehungen pro Minute gedreht. Wird diese Drehzahl weiter erniedrigt, auf beispielsweise wenige Umdrehungen pro Minute, kann im zeitlichen Verlauf eines Mikrofonsignals für eine bestimmte angelegte Wechselspannungsfrequenz der Einfluß der Rotor bzw. Statorgeometrie sichtbar gemacht werden (siehe Fig. 5a und b). In Fig. 5a entspricht der große gestrichelte Kasten 18 einer Umdrehung. Der kleinere gestrichelte Kasten 19 entspricht dem Weiterdrehen des Rotors um ein Polpaar. Schließlich umfaßt der kleinste durchgezogene Kasten 20 das Weiterdrehen des Rotors um eine Nutung auf einem Polpaar. Deutlich ist jede Nutung im Kurvenverlauf sowohl in Fig. 5b als auch in Fig. 5a zu sehen. Dabei ist der Kurvenverlauf in Fig. 5b für einen lauten Generator und der in Fig. 5a für einen leisen Generator stellvertretend. Vergleicht man den Verlauf des Schalldruckpegels  $p$  für ein Polpaar, so ist für den lauten Generator eine ansteigende Tendenz des Schalldruckpegels feststellbar, wohingegen beim leisen Generator eine abfallende Tendenz vorhanden ist (vergleiche die gestrichelten Kasten 19 in Fig. 5a und 5b). Das erfindungsgemäße Bewertungsverfahren gibt somit zusätzlich Aufschlüsse über das Zusammenspiel von Rotor und Stator in einem Generator. Gegebenenfalls lassen sich auch Aussagen über Ungleichmäßigkeiten im magnetischen Feld in Bezug auf den Drehwinkel des Rotors oder einen unruhig laufenden Rotor machen.

Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Bewertung der Betriebsgeräusche lassen sich die Amplitudenspektren unterschiedlicher Generatoren in einfacher Weise aufnehmen und zu ihrer Analyse miteinander vergleichen. Dabei schließt das erfindungsgemäße Verfahren und die Vorrichtung auch die Bewertung an vorher erwärmten Generatoren nicht aus. Dies kann sinnvoll sein, da im Betriebsfall beispielsweise in einem Kraftfahrzeug die Generatoren eine typische Temperatur von 160°C und Maximalwerte bis 200°C erreichen. Bei diesen Temperaturen ändert sich das mechanische und magnetische Verhalten der für den Generator verwendeten Materialien, vor allem das von Kunstharz, in dem Wicklungen eingebettet sind. Die Erwärmung in der Vorrichtung kann beispielsweise auf ohmschem Wege durch einen erhöhten Stromfluß in den Spulenwicklungen erfolgen. Daran anschließend können die Amplitudenspektren erfindungsgemäß aufgenommen werden.

Aufgrund der Einfachheit des Verfahrens und der Vorrichtung kann eine Anwendung nicht nur für die Produktentwicklung, sondern auch in der Serienproduktion bzw. Fertigung sinnvoll sein.

Weiterhin läßt sich die Vorrichtung und das Verfahren zur Fertigungskontrolle bzw. Qualitätsprüfung von stromdurchflossenen elektrischen Bauteilen einsetzen. Diese Anwen-

dung des erfindungsgemäßen Verfahrens nutzt den Einfluß der Schwingungsdämpfung auf die Geräuschbildung. So kann mit dem beschriebenen Verfahren beispielsweise die Einhaltung einer bestimmten Schichtdicke an stromdurchflossenen Bauteilen überprüft werden, denn die Schichtdicke wirkt sich schwingungsdämpfend auf das Schallspektrum der mechanischen Schwingung aus.

Als Beispiel sei die Prüfung der Schichtdicke eines mit Isolierlack überzogenen Drahtes einer Spulenwicklung genannt. Nach dem Beschichten des Drahtes, beispielsweise durch Eintauchen in ein Lack-Bad, wird an die Spulenwicklung eine Wechselspannung angelegt. Anhand des durch die elektrische Erregung erzeugten Geräusches wird auf die Schichtdicke der Isolierung geschlossen. Dazu wird vorher das Geräusch eines Drahtes mit einer Sollsichtdicke als Standardschallspektrum aufgenommen. Das Standardschallspektrum wird dann mit dem aufgenommenen Schallspektrum der geprüften Spulenwicklung verglichen. Weicht das Schallspektrum der geprüften Spulenwicklung vom Standardschallspektrum ab, liegt nicht die erforderliche Schichtdicke vor. Dieser Fehler würde, abgesehen von einer eventuellen Sichtprüfung, erst im montierten Zustand entdeckt, wenn eine Prüfung der komplett montierten elektrischen Maschine vorgenommen wird.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist beispielsweise die Güteprüfung von Silikondämpfern zur Schwingungsabsorption an elektrischen Motoren.

Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zur Fertigungskontrolle bzw. Qualitätsprüfung entspricht der in den Fig. 1 bis 3 beschriebenen Anordnung, wobei anstelle des Generators eine oder mehrere Spulen des stromdurchflossenen Bauteils angeordnet werden.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bewertung der Geräusche von elektrischen Maschinen oder Geräten und/oder deren stromdurchflossener Bauteile, mit wenigstens einer Spulenwicklung, in der ein magnetisches Wechselfeld auftritt, mit einer Aufnahmeeinrichtung (9, 10, 11) zur Detektion der Geräusche und mit Mitteln zur Verarbeitung der Signale der Aufnahmeeinrichtung, **dadurch gekennzeichnet**, daß wenigstens eine Wechselspannungsquelle (4) für die Bestromung der wenigstens einen Spulenwicklung (1, 2, 3) der elektrischen Maschine oder des elektrischen Gerätes oder des stromdurchflossenen Bauteils zur Erzeugung einer mechanischen Schwingung vorgesehen ist, mit der das Geräusch ausbildbar ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Frequenz der Wechselspannung das Geräusch im herkömmlichen stromführenden Betriebszustand nachbildbar ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselspannungsquelle (4) in der Frequenz variabel ist.
4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenz der Wechselspannungsquelle (4) automatisch einstellbar ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Antriebsmittel für eine Drehbewegung eines Läufers der elektrischen Maschine während der Bestromung vorgesehen sind.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Antriebsmittel einen Getriebemotor (13) umfassen, dessen Drehzahl einstellbar ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Verarbeitung der Signale

einen elektronischen Rechner beinhalten.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmeeinrichtung wenigstens ein Mikrofon (9, 10, 11) zur Detektion des Schalldrucks umfaßt.

5

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmeeinrichtung wenigstens einen Sensor zur Detektion von Körperschall beinhaltet.

10. Verfahren zur Bewertung der Geräusche von elektrischen Maschinen oder Geräten und/oder deren stromdurchflossener Bauteile, mit wenigstens einer Spulenwicklung, in der ein magnetisches Wechselfeld auftritt, wobei die Geräusche aufgenommen und die aufgenommenen Signale verarbeitet werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Spulenwicklung zur Ausbildung des magnetischen Wechselfeldes mit einer Wechselspannung beaufschlagt wird und daß die durch das magnetische Wechselfeld verursachte mechanische Schwingung ein Geräusch erzeugt, das von der Aufnahmeeinrichtung aufgenommen wird.

10  
15  
20

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß mit der Frequenz der Wechselspannung das Geräusch im herkömmlichen stromführenden Betriebszustand nachgebildet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Geräusche bei unterschiedlichen Frequenzen durchgeführt wird.

25

13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung der Geräusche die Größe der Amplitude der abgestrahlten Schwingung im Luftschall aufgenommen wird.

30

14. Verwendung des Verfahrens nach Anspruch 10 zur Fertigungskontrolle und/oder Qualitätsprüfung von stromdurchflossenen Bauteilen, wobei das bei einer vorher festgelegten Frequenz der Wechselspannung auftretende Geräusch bewertet wird, derart, daß das Schallspektrums des aufgenommenen Geräusches mit einem vorher festgelegten Standardschallspektrum, das dem Geräusch des Sollzustands entspricht, verglichen wird.

40

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

45

50

55

60

65

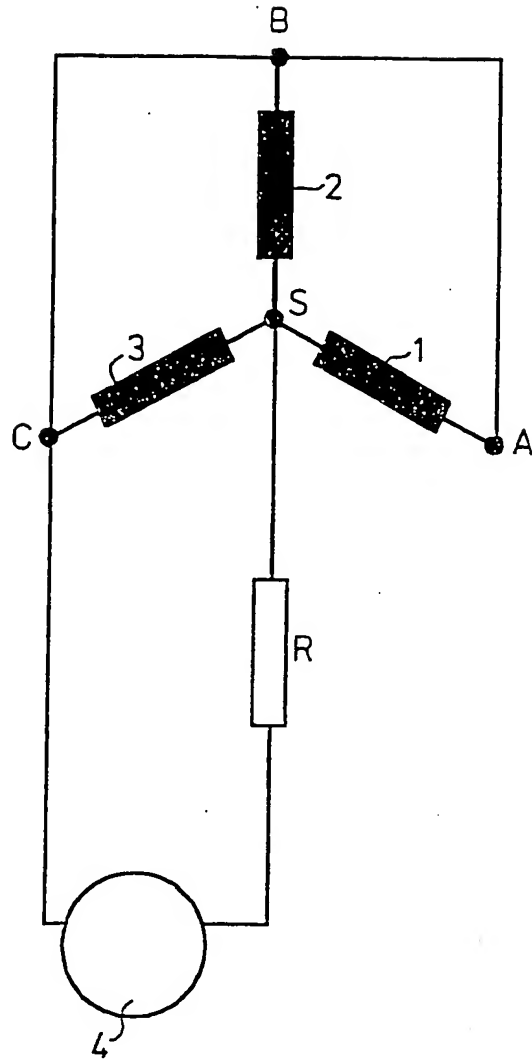


Fig. 1a

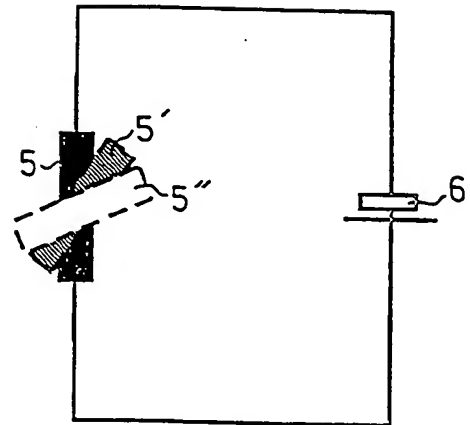


Fig. 1b

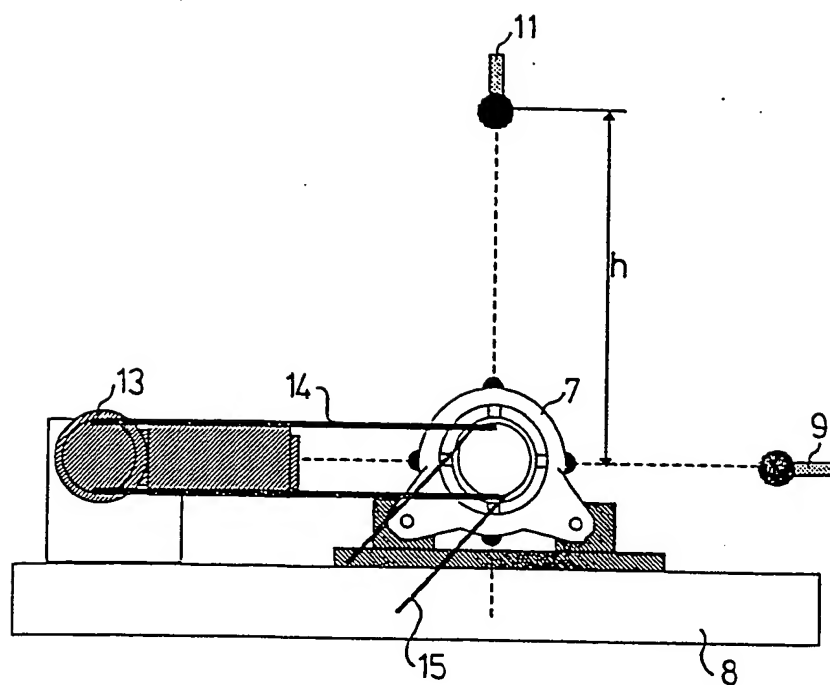


Fig. 2

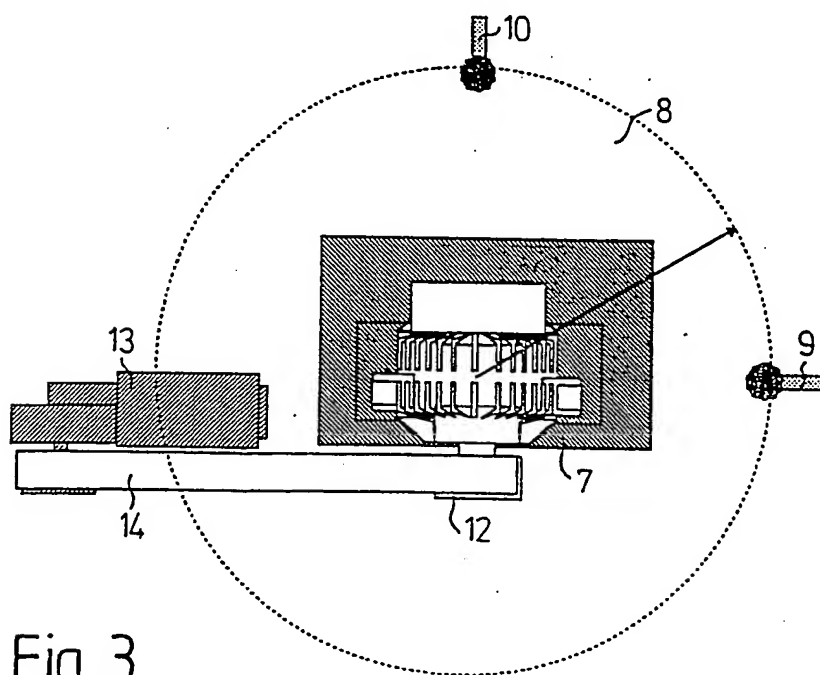


Fig. 3

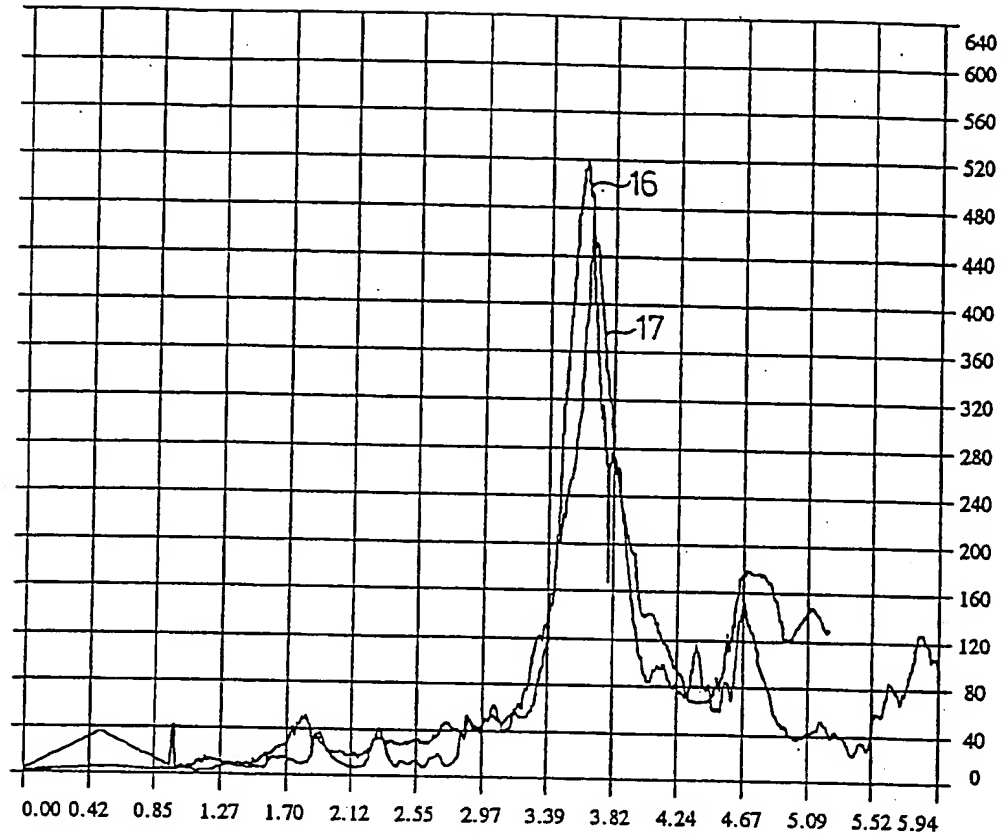


Fig. 4



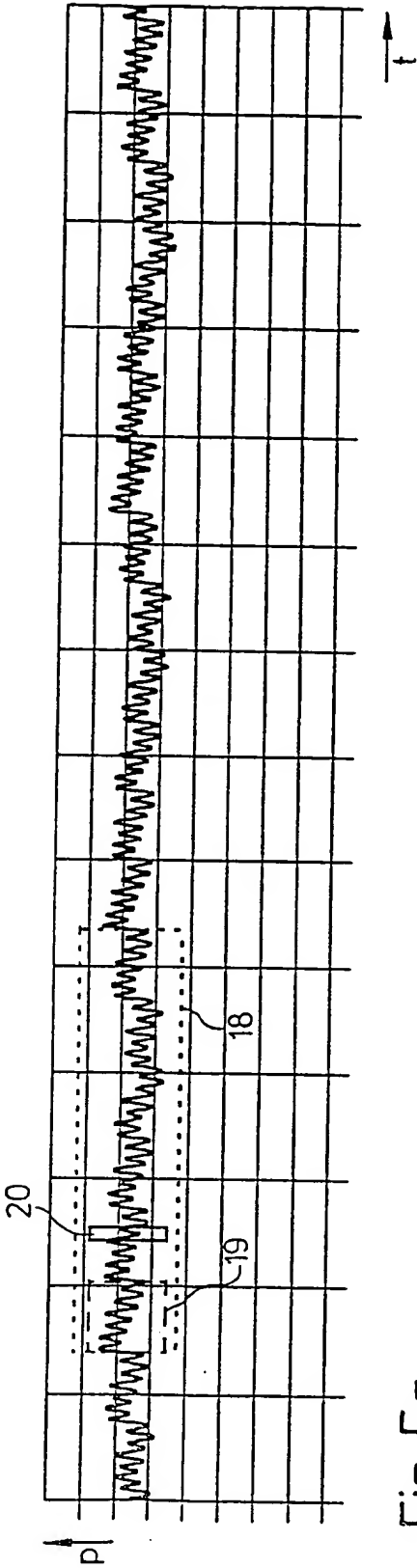


Fig. 5a

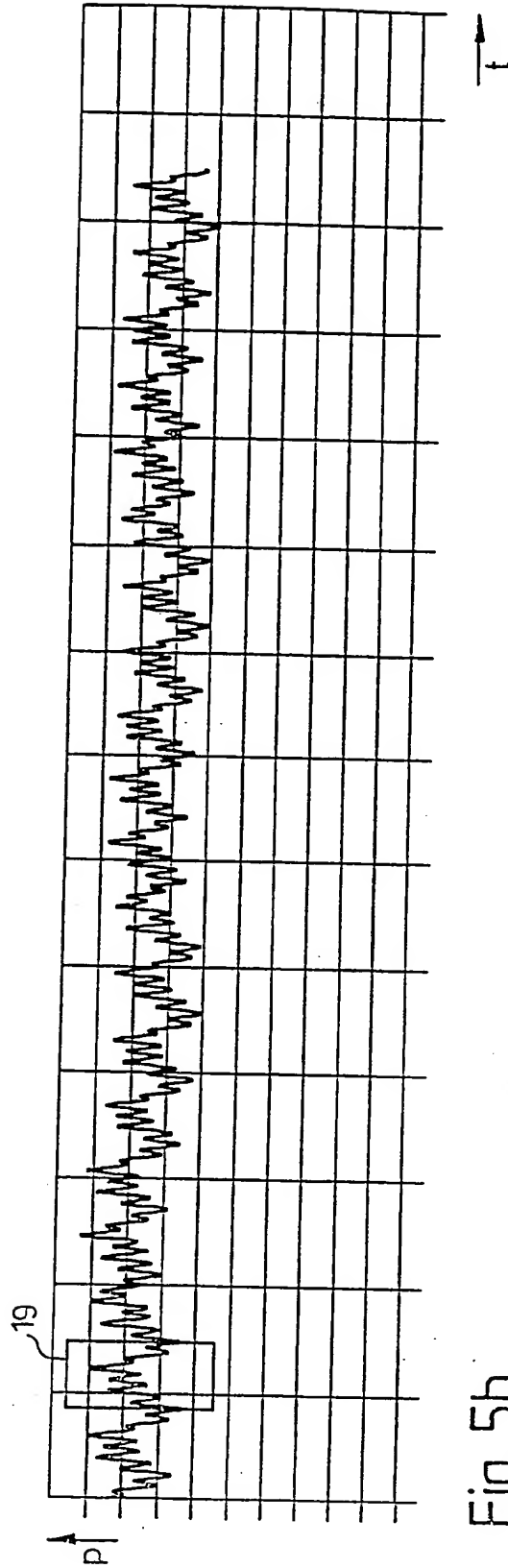


Fig. 5b

Translation of DE 197 45 007 A1

Patentees: Robert Bosch GmbH

Title: Apparatus and method for assessing the noises of electrical machines or apparatuses

-----

#### Abstract

Proposed is an apparatus and a method of assessing the noises of electrical machines or apparatuses and/or components thereof through which current flows, comprising at least one coil winding in which an alternating magnetic field occurs, a pick-up device (9, 10, 11) for detecting the noise and means for processing the signals from the pick-up device. Provided for supplying current to the coil winding (1, 2, 3) is an ac voltage source (4) for producing a mechanical vibration with which the noise can be formed. The noise can be simulated in the usual, current-carrying operating condition, by means of the frequency of the ac voltage. In addition the proposed method can be used for production control and/or quality checking of the components through which current flows, wherein the noise which occurs at a previously established frequency of the ac voltage is assessed.

#### Description

##### State of the art

The invention concerns an apparatus and a method of assessing the noises of electrical machines or apparatuses and/or the components thereof through which current flows, as set forth in the classifying portion of claim 1 and claim 10 respectively.

Assessment of the operating noises of electrical machines or apparatuses which have at least one coil winding and which in the usual current-carrying operating condition have an alternating magnetic field is a matter of interest in particular from the point of view of noise minimisation in terms of the development of such machines and apparatuses or in regard to optimum component selection. The term coil winding is used hereinafter

to denote an arrangement of electrical conductors in for example electrical machines, transformers, electromagnets or the like.

In a known structure for example the operating noises of a lighting generator for a motor vehicle are assessed. That electrical generator, mostly in the form of a three-phase synchronous unit, is driven to provide the electrical power supply in the motor vehicle, generally by way of the V-belt, from the internal combustion engine, and in that manner is subjected to substantial fluctuations in its speed of rotation. Therefore noise testing should also be effected over a corresponding rotary speed range. For that purpose the generator is arranged on a test stand. In order to be able to adjust the desired rotary speeds at the generator, it is necessary to have an additional powerful drive which is coupled thereto for example by way of a belt transmission. To achieve neutral measurement conditions, the arrangement should be set up in a noise measuring cell, in which respect moreover care should be taken to ensure that the motion noises of the additional drive do not detrimentally influence assessment of the operating noises of the generator.

Assessment of the generator at the respective rotary speed can be implemented in accordance with a subjective method by a number of test operators. It will be appreciated that subjective evaluation always involves inaccuracies. In another operating procedure, the magnitude of the amplitudes of the emitted oscillations in sound passing through the air is recorded by way of microphones. That affords good reproducibility of the measurement and objective comparison curves in relation to other measurements.

At certain rotary speeds the loudness of the noise increases greatly by virtue of resonance conditions. With the above-described arrangement however, that is to say with the additional powerful drive unit, it is not always possible exactly to get to those resonance locations. The reason for this is that, by virtue of the fluctuations in load, in a revolution of the generator, the rotary speed also fluctuates within the revolution, and it is thus not possible to set a given rotary speed with an adequate degree of accuracy.

The object of the invention is to provide an apparatus for assessing the noises of electrical machines or apparatuses having at least one coil winding, in which a lower level of structural complication and expenditure is required and the degree of accuracy of assessment is improved. The invention further seeks to provide a method of assessing the noises, which is also simpler and more accurate, in comparison with the state of the art. The invention seeks to provide that the method is suitable for monitoring manufacture.

#### Advantages of the invention

The core notion of the invention provides that, by means of electrical excitation of the coil winding, the alternating magnetic field produced thereby and the mechanical vibrations which are in turn caused thereby generate a noise. With that noise, it is possible on the one hand to simulate the noise which occurs in the usual, current-carrying operating condition. In addition the noise caused by the alternating magnetic field affords information about the maintenance of functional parameters in respect of the component through which current is flowing or the maintenance of given production parameters, in accordance with which the current-carrying component was manufactured. In that way it is possible to use the apparatus and the method according to the invention for production monitoring or for quality testing of components through which current flows. The electrical machine or the electrical apparatus do not have to be in the finished mounted condition, for the quality testing operation.

In regard to noise testing of generators, there is no need for a powerful drive which brings the generator up to the rotary speed at which an assessment procedure is to be implemented. Instead for example the stator winding of the generator is subjected to the action of an ac voltage, the frequency of which corresponds to the rotary speed to be assessed. Surprisingly, that causes operating noises at the generator, which substantially correspond to those as if the rotor of the generator were moving at the rotary speed corresponding to the frequency. The reason for this is in particular that, in the case of conventional electrical machines, the operating noises occur substantially due to the interactions of the magnetic

forces in the machine. A deviation from a measurement with actual rotation can however occur if other noise sources such as for example bearing noises, scraper noises, belt drive noises or the like become dominant. An assessment procedure of that kind therefore also makes it possible for the noises caused by the magnetic field to be clearly separated from other noise sources. The noises produced by the alternating magnetic field can be detected and subjected to further processing in many different ways. In the case of multi-coil electrical machines, a multi-phase feed can be advantageous, in respect of which waveform and/or phase position of the ac voltage are possibly freely adjustable. Further degrees of freedom are attained in that way in terms of analysis of the operating noises.

In order to be able to implement the assessment procedure over a given frequency range, that is to say a rotary speed range, it is further provided that the ac voltage source is variable in respect of its frequency.

For computer-controlled implementation of the measurement procedure, it is further proposed that the frequency of the ac voltage source is automatically adjustable.

In addition it is particularly preferred if, in the case of generators, drive means are provided for a rotary movement of the rotor during the supply of current. In the case of electrical machines, magnetic coupling is not completely independent of the position of the rotor in comparison with the stator. Asymmetries of that kind are averaged out by a rotary movement of the rotor which can be very slow (for example 140 revolutions per minute). In that respect it is also advantageous to permit a variable rotary speed of the rotor.

In order to be able to implement a rotary movement of the rotor in a comparatively simple manner, it is further proposed that the drive means include a preferably quiet motor-transmission unit.

For the purposes of rational processing of detected noises, it is further proposed that the processing means include an electronic computer.

In addition it is particularly advantageous if the pick-up device includes at least one microphone for detecting acoustic pressure. That provides a particularly viable noise measurement method.

Likewise it is preferred in an advantageous embodiment if the pick-up device includes at least one sensor for detecting sound conducted through solid. In that way it may be possible to detect measurement values with a greater degree of sensitivity in comparison with measurement involving acoustic pressure.

The apparatus and the method can be similarly used for testing other components such as for example piezoelectric components. It is important in terms of making use of the invention that the situation involves electrical excitation of a mechanical vibration of the component.

#### Embodiments

A first embodiment of the invention is illustrated in the drawings and described in greater detail with reference to the description hereinafter. A second embodiment is described with reference to a method of checking the quality of manufacture of a current-carrying component.

More specifically:

Figures 1a and b show the schematic circuit diagram of a three-phase generator with ac voltage supply according to the invention (a) and with a dc voltage-supplied rotor (b) respectively,

Figure 2 shows a diagrammatic side view of a generator clamped into the test bench of a noise measuring cell,

Figure 3 shows a diagrammatic plan view of the test bench with generator shown in Figure 2,

Figure 4 shows the configurations of the acoustic pressure levels, recorded by a microphone, of the operating noise of a generator for the assessment method according to the invention and for a conventional method, and

Figure 5 shows the configuration in respect of time of the acoustic pressure levels of the operating noise of two generators at a constant exciter frequency (rotary speed).

Figures 1a and b show a schematic circuit diagram of a lighting generator for a motor vehicle, for example a twelve-pole three-phase synchronous rotor. The term stator is used hereinafter instead of stationary part as this involves a synchronous machine. The rotating part is referred

to as the rotor. As shown in Figure 1a in accordance with the invention the stator windings 1, 2, 3 are connected by way of the terminals A, B, C and the neutral point S and a series resistor R to an ac voltage source 4. The rotor 5 (Figure 1b) can be supplied from a dc voltage source 6 to produce a magnetic rotor field. A possible rotary movement of the rotor is intended to be indicated by the rotor positions 5' and 5" shown in broken line.

The ac voltage source 4 can be adjusted for example in respect of frequency and amplitude. An ac voltage applied by the source 4 produces an alternating magnetic field in the stator windings 1 through 3. That causes the stator to be put into a condition of mechanical oscillation or vibration which substantially causes the operating noise. In general terms the stator will react 'more sensitively' to given frequencies, that is to say, a particularly strong vibration is produced. Depending on how the stator is arranged in its surroundings, the operating noise becomes softer or louder. The arrangement or coupling of the stator in its surroundings can be ascertained for example in a theoretical model by a transfer function.

In order to simulate the actual operational situation the rotor is supplied with a usual dc voltage (it will be appreciated that this is not involved, when dealing with a permanent-magnetic rotor). In that way magnetic coupling in the generator is modified, and therewith also the noise produced thereby. As has been found in tests, the operating noise becomes louder as the stator can be 'supported' by way of the magnetic forces on the rotor, whereby the amplitude of the stator vibration increases. As is described in greater detail hereinafter, the angular position of the rotor in relation to the stator additionally has an influence on the vibrations occurring at the generator and thus on the generation of noise. This is primarily due to the fact that the magnetic coupling between the stator and the rotor is continuously altered by claws or teeth mounted thereon encountering each other, during the rotation of the rotor.

Desirably, for the purposes of assessment of the operating noises, the procedure involves recording an amplitude spectrum in which for example the acoustic pressure level in the surroundings of the generator is measured, in a given frequency range, by means of one or more



microphones. Such a measurement can be carried out in a noise measuring cell which has a test bench as shown in Figures 2 and 3. For that purpose a generator 7 (for example a 12-pole three-phase synchronous rotor) is clamped on a support bench 8. The noise measuring cell which is intended to exclude interference noises and reflection phenomena has three microphones 9, 10, 11 in the illustrated embodiment. The microphones 9 and 10 are arranged in a plane parallel to the support bench on a circular line of a radius of approximately  $r = 30$  cm around the center of the generator 7. The third microphone 11 is positioned at a height  $h$  of for example 50 cm perpendicularly to the plane of the bench, above the center of the generator. The center of the generator can be taken as the center of the rotor on its rotary shaft 12. In order to be able to implement a slow rotary movement of the rotor (for example between 1 and 200 revolutions per minute), the assembly has a quiet motor transmission unit 13 which drives the rotary shaft 12 of the rotor 5 by way of a drive belt 14. In accordance with the invention it is possible to totally eliminate a powerful drive which in a conventional assessment procedure drives the rotor of the generator at rotary speeds of several thousands of revolutions per minute. A suitably sized drive belt 15 which is necessary for that purpose is nonetheless indicated in Figure 2, for the sake of enhanced understanding of what is involved. This means that there is also no need of measures which have to be taken when dealing with a powerful motor in order to separate it acoustically from the measuring arrangement. The alternating magnetic field which occurs in the case of conventional assessment by virtue of the high rotary speed of the rotor and the operating noises which are linked thereto can be simulated in accordance with the invention, in order to express this clearly once again, by virtue of applying an ac voltage whose frequency corresponds to the rotary speed of the rotor. This means that the additional powerful drive is redundant, whereby the apparatus for assessment of the operating noises is considerably simplified.

The good correlation of a conventionally recorded amplitude spectrum 16 and an amplitude spectrum 17 obtained in accordance with the invention is to be clearly shown in the diagrammatic view in Figure 4.

The two measurement curves were recorded for example by way of the microphone 9, in which respect the amplitude of the acoustic pressure is plotted on the ordinate in mPa (millipascals) while the frequency or rotary speed is plotted on the abscissa in kHz (kilohertz). The main resonance location occurs for both measurement procedures approximately at the same location, in which respect moreover the amplitudes are also virtually coincident. It is only from about 4.5 kHz that the curve recorded in accordance with the invention drops away sharply as the rotor which rotates only very slowly (for example 140 revolutions per minute) cannot emit the noises of a fan or the drive belt, which in the conventional situation increase with an increasing rotary speed. The measurement range below 1 kHz is not of great significance as that rotary speed does not occur in a vehicle.

Different microphone positions are possible for recording the operating noises, in which respect it has been found that positioning the microphone in the region of the microphone 9 gives particularly suitable measurement values.

When recording the amplitude spectrum 17 according to the invention, as shown in Figure 4, the rotor, as already mentioned, rotated at a low speed of rotation of approximately 140 revolutions per minute. If that rotary speed is reduced further, for example to a few revolutions per minute, then the influence of the rotor or stator geometry can be made clearly visible in the configuration in respect of time of a microphone signal, for a given applied ac voltage frequency (see Figures 5a and b). In Figure 5a the large broken-line box 18 corresponds to a revolution. The smaller broken-line box 19 corresponds to a further rotary movement of the rotor by a pair of poles. Finally the smallest solid-line box 20 involves further rotation of the rotor by a groove configuration on a pair of poles. Each groove configuration can be clearly seen in the configuration of the curves both in Figure 5b and also in Figure 5a. In that respect the curve configuration in Figure 5b is representative of a loud generator and that shown in Figure 5a is representative of a quiet generator. If the configuration of the acoustic pressure level  $p$  for a pair of poles is

compared, it is possible to see that there is a rising trend in the acoustic pressure level for the loud generator whereas the quiet generator has a falling trend (see the broken-line boxes 19 in Figures 5a and 5b). The assessment method according to the invention thus additionally affords information about the interplay of the rotor and the stator in a generator. Information may possibly also be provided about irregularities in the magnetic field in relation to the angle of rotation of the rotor or a rotor which is running out-of-true.

The apparatus and the method according to the invention for assessment of the operating noises make it possible to easily record the amplitude spectra of different generators and compare them together for analysis thereof. In that respect the method and apparatus according to the invention also do not exclude assessment on previously heated generators. That can be meaningful as in the operational situation for example in a motor vehicle the generators reach a typical temperature of 160°C and maximum values of up to 200°C. At those temperatures the mechanical and magnetic characteristics of the materials used for the generator, in particular those of synthetic resin in which windings are embedded, change. Heating in the apparatus can be effected for example ohmically by an increased flow of current in the coil windings. The amplitude spectra can then be recorded in accordance with the invention.

By virtue of the simplicity of the method and the apparatus, use thereof can be appropriate not only for product development but also in series production or manufacture.

The apparatus and the method can also be used for manufacturing control or quality testing of electrical components for carrying current. That use of the method according to the invention uses the influence of vibration damping on the generation of noise. Thus the method described can be used for example to test the maintenance of a given layer thickness on current-carrying components for the layer thickness has a vibration-damping effect on the acoustic spectrum of the mechanical vibration.

As an example, mention may be made of testing the layer thickness of a wire of a coil winding, which is coated with insulating lacquer. After the

wire is coated, for example by being dipped into a lacquer bath, an ac voltage is applied to the coil winding. The layer thickness of the insulation is inferred on the basis of the noise produced by electrical excitation. For that purpose the noise of a wire with a reference layer thickness is recorded as a standard acoustic spectrum. The standard acoustic spectrum is then compared to the recorded acoustic spectrum of the coil winding under test. If the acoustic spectrum of the coil winding under test differs from the standard acoustic spectrum, the arrangement does not involve the required layer thickness. Apart from a possible visual check, that fault would only be discovered in the assembled condition when a check is made in respect of the completely assembled electrical machine.

A further area of use is for example quality checking of silicone dampers for vibration absorption on electric motors.

The apparatus for carrying out the method of manufacturing control or quality checking corresponds to the arrangement described with reference to Figures 1 through 3, in which respect one or more coils of the current-carrying component are arranged in place of the generator.

#### Claims

1. Apparatus for assessment of the noises of electrical machines or apparatuses and/or the components thereof through which current flows, comprising at least one coil winding in which an alternating magnetic field occurs, a recording device (9, 10, 11) for detection of the noises and means for processing the signals from the recording device, characterised in that there is provided at least one ac voltage source (4) for supplying current to the at least one coil winding (1, 2, 3) of the electrical machine or the electrical apparatus or the current-carrying component for producing a mechanical vibration with which the noise can be produced.

2. Apparatus as set forth in claim 1 characterised in that the noise can be simulated in the usual current-carrying operating condition at the frequency of the ac voltage.

3. Apparatus as set forth in claim 2 characterised in that the ac voltage source (4) is variable in frequency.

4. Apparatus as set forth in claim 2 or claim 3 characterised in that the frequency of the ac voltage source (4) is automatically adjustable.

5. Apparatus as set forth in claim 1 characterised in that there are provided drive means for a rotary movement of a rotor of the electrical machine during the power supply thereto.

6. Apparatus as set forth in claim 5 characterised in that the drive means include a motor transmission unit (13) whose rotary speed is adjustable.

7. Apparatus as set forth in claim 1 characterised in that the means for processing the signals include an electronic computer.

8. Apparatus as set forth in claim 1 characterised in that the recording device includes at least one microphone (9, 10, 11) for detecting the acoustic pressure.

9. Apparatus as set forth in claim 1 characterised in that the recording device includes at least one sensor for detecting sound conducted through solids.

10. A method of assessing the noises of electrical machines or apparatuses and/or the components thereof through which current flows, comprising at least one coil winding in which an alternating magnetic field occurs, wherein the noises are recorded and the recorded signals are processed, characterised in that the coil winding is subjected to the action of an ac voltage for producing the alternating magnetic field and that the mechanical vibration caused by the alternating magnetic field produces a noise which is recorded by the recording device.

11. A method as set forth in claim 10 characterised in that the noise is simulated in the usual current-carrying operating condition at the frequency of the ac voltage.

12. A method as set forth in claim 11 characterised in that measurement of the noises is effected at different frequencies.

13. A method as set forth in claim 10 characterised in that to measure the noises the magnitude of the amplitude of the emitted vibration is recorded in sound conducted through the air.

14. Use of the method as set forth in claim 10 for manufacturing control and/or quality checking of current-carrying components, wherein the noise which occurs at a previously established frequency of the ac voltage is assessed in such a way that the acoustic spectrum of the recorded noise is compared to a previously established standard acoustic spectrum which corresponds to the noise of the reference condition.

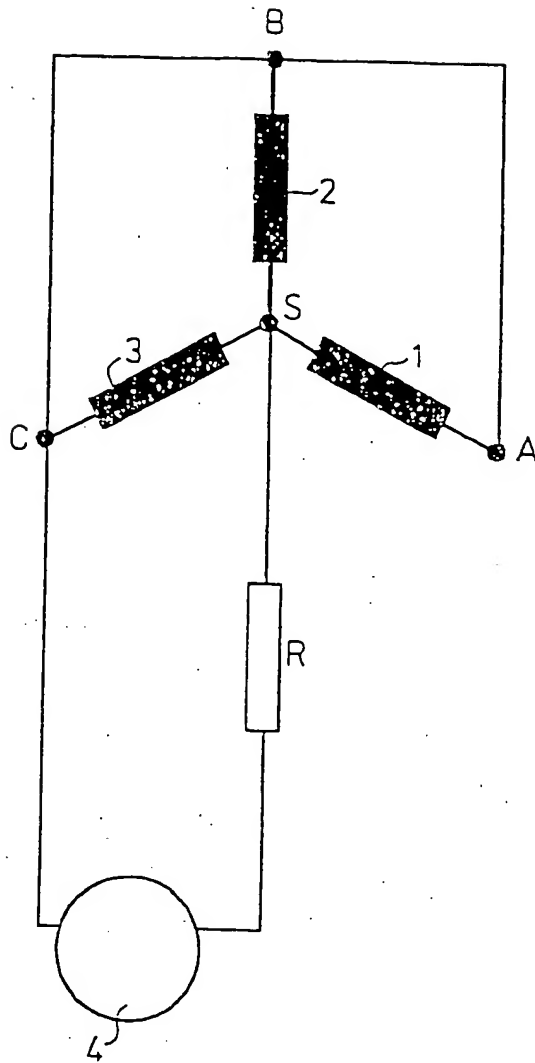


Fig. 1a

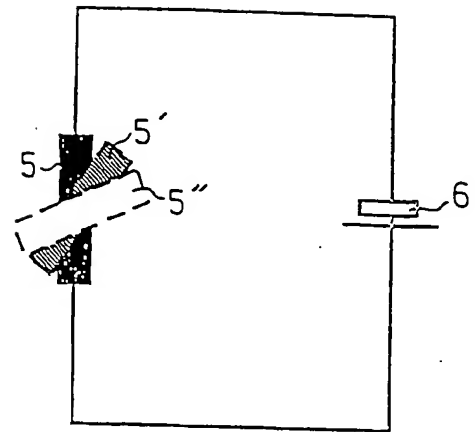


Fig. 1b

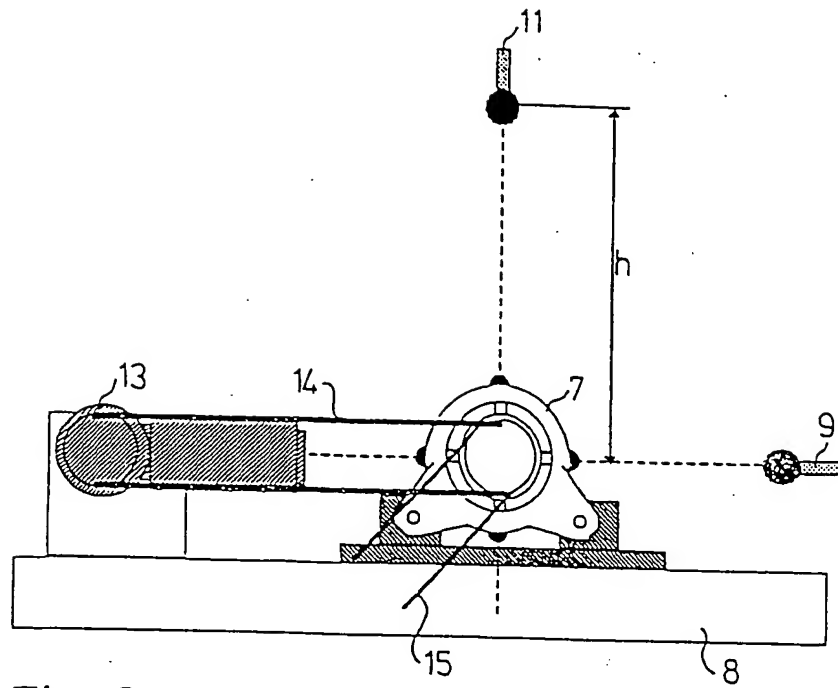


Fig. 2

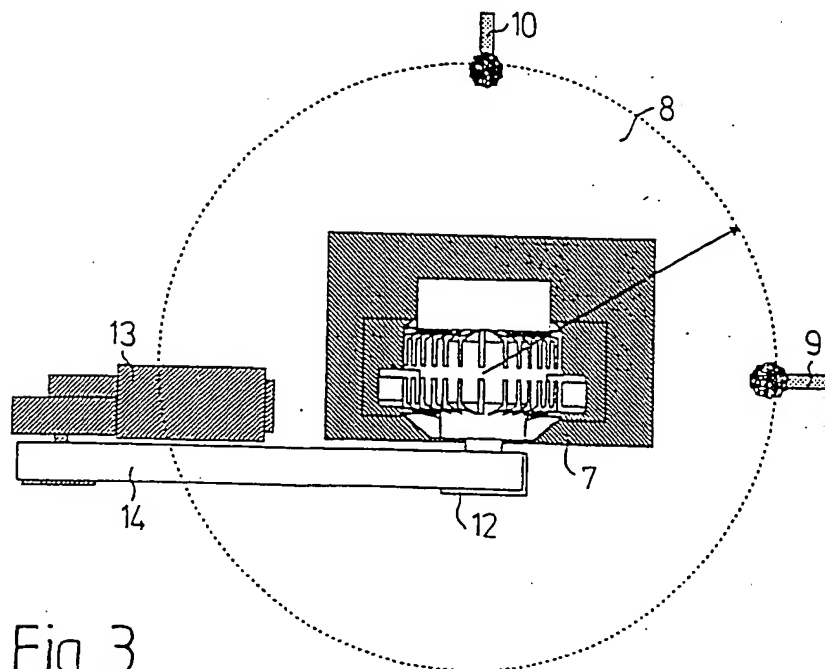


Fig. 3



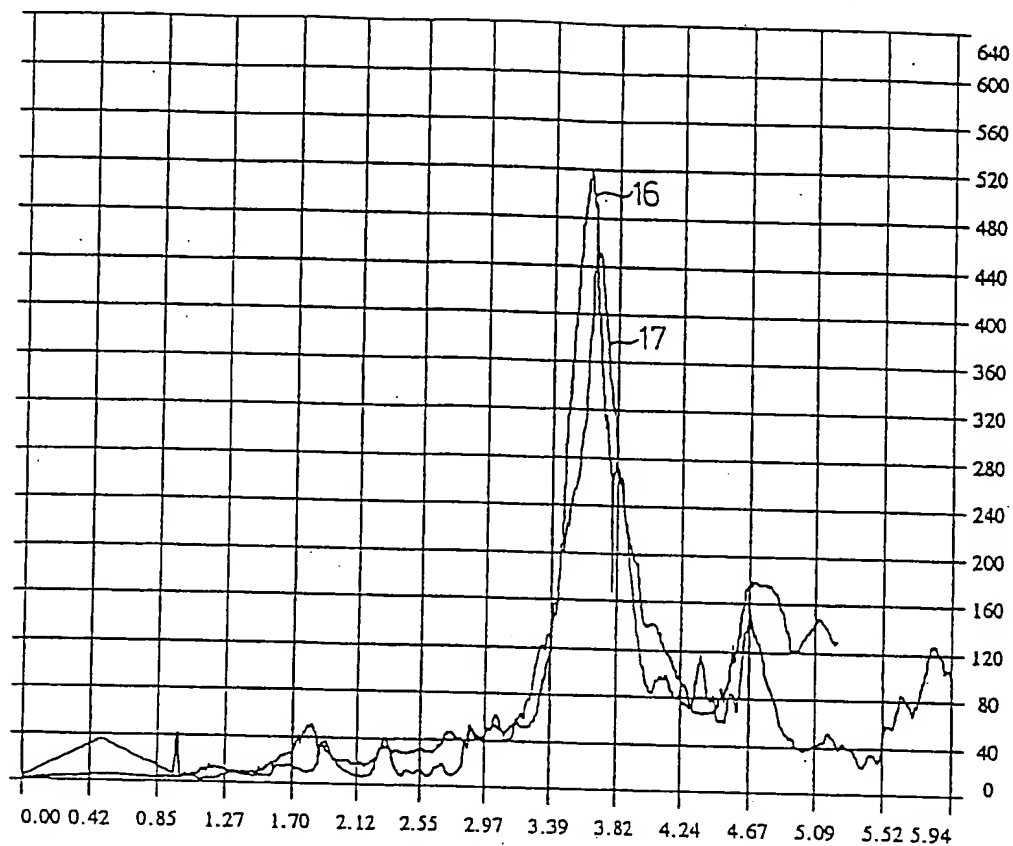


Fig. 4

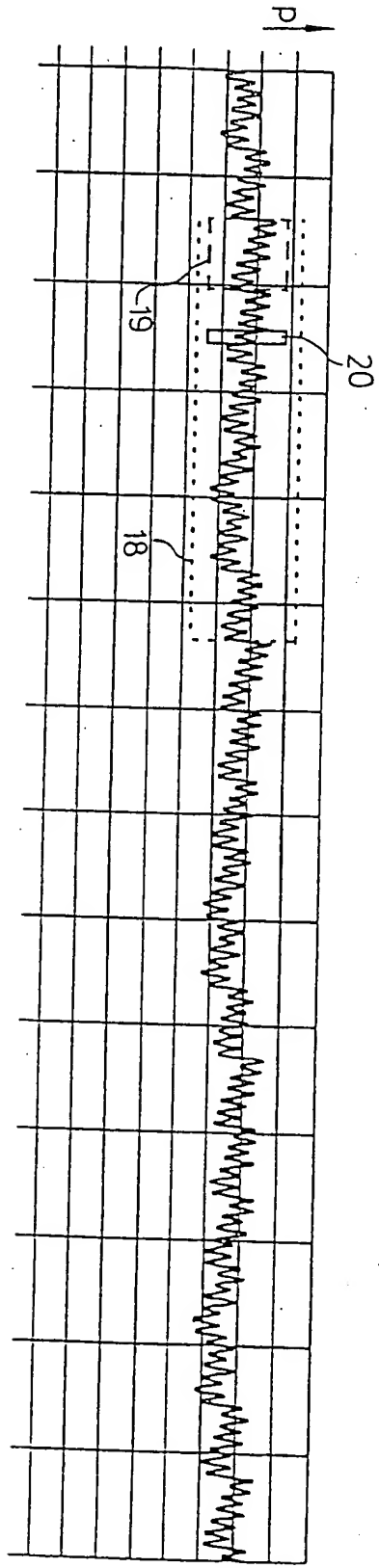


Fig. 5a

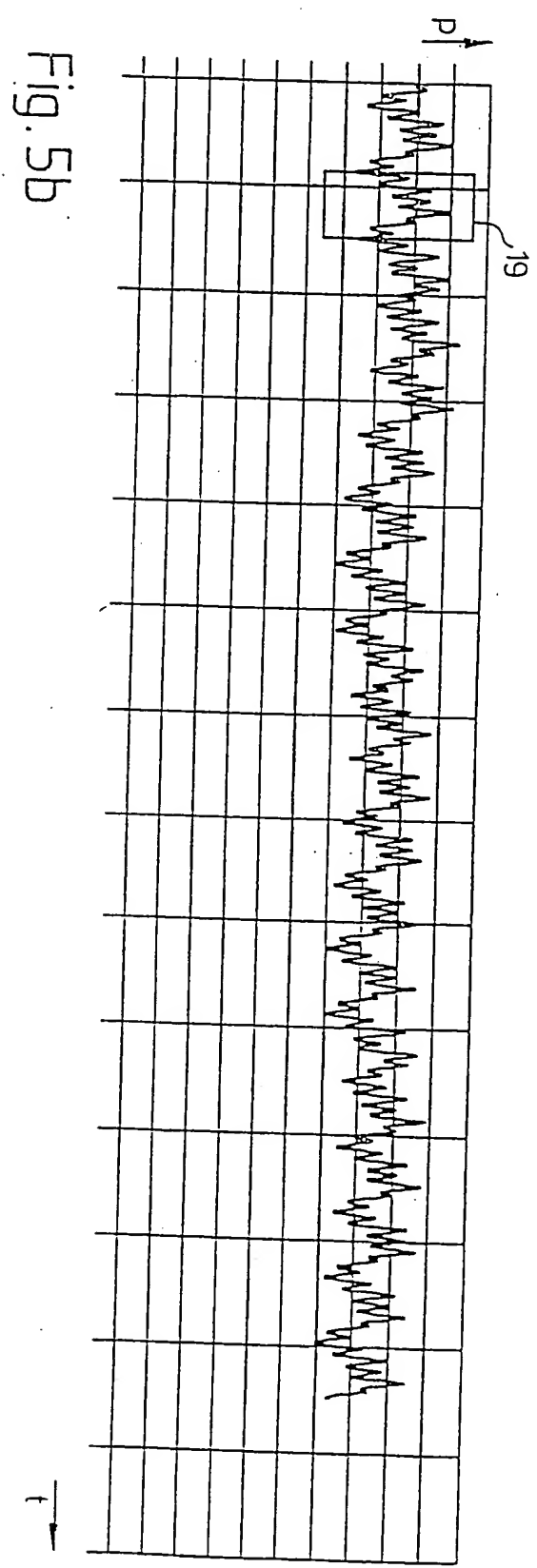


Fig. 5b